

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 12 (1)

February 2019

Article link

<http://www.seasinop.com.br/revista/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=608&path%5B%5D=pdf>

Included in DOAJ, AGRIS, Latindex, Journal TOCs, CORE, Discoursio Open Science, Science Gate, GFAR, CIARDRING, Academic Journals Database and NTHRYS Technologies, Portal de Periódicos CAPES.



Avaliação da qualidade do ar na cidade de Caxias do Sul através de amostragens passivas de NO₂ e O₃ e biomonitoramento vegetal entre os meses de setembro e novembro de 2014

Evaluation of air quality in Caxias do Sul through bioassay and passive sampling of NO₂ and O₃ between september and november of 2014

K. N. Varela^a, A. S. Fleck^b, C. R. Rhoden^b; L. B. Crippa^a, R. M. E. Damiani^c

^a Faculdade da Serra Gaúcha

^b Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre

^c Centro Universitário Ritter dos Reis

Author for correspondence: marquesdamiani@gmail.com

Resumo. A poluição do ar está relacionada a problemas respiratórios como: rinites alérgicas e bronquite, podendo causar também dor de cabeça, irritação nos olhos e garganta, e até mesmo, levar ao aparecimento de doenças cardiovasculares e câncer de pulmão. A avaliação da qualidade do ar na cidade de Caxias do Sul foi realizada através de filtros passivos de NO₂ e O₃ além de biomonitoramento vegetal através do bioensaio Trad-MCN, onde mudas de *Tradescantia pallida* var. *purpúrea* ficaram expostas as condições ambientais e após verificou-se a porcentagem de micronúcleos presentes em tétrades, células-mãe de grão de pólen. Os pontos de amostragem foram em três regiões diferentes, sendo dois deles localizados na área urbana, o Ponto 1 localizado em um bairro residencial próximo a uma região industrial e o Ponto 2 localizado próximo a região central. Já o Ponto 3 é localizado na zona rural do município. Este estudo evidenciou que os poluentes atmosféricos se encontram em maiores concentrações na área urbana da cidade do que na área rural, ressaltando apenas que a concentração de O₃ foi a única aumentada na área rural. A frequência de micronúcleos também foi observada em maior quantidade na área urbana, principalmente no Ponto 2 De acordo com a OMS, no ano de 2012 morreram 7 milhões de pessoas no mundo em decorrência da poluição atmosférica. O monitoramento da poluição atmosférica passa a ser uma importante ferramenta adotada para propiciar uma melhor qualidade de vida à população.

Palavras chave: poluição do ar, biomonitoramento, micronúcleo, dióxido de nitrogênio, ozônio.

Abstract. Air pollution is related to respiratory problems such as allergic rhinitis and bronchitis, and it can also cause headaches, irritation of the eyes and throat, and even lead to cardiovascular diseases and lung cancer. The evaluation of air quality in Caxias do Sul city was performed by NO₂ and O₃ passive filters in addition to plant biomonitoring through the Trad-MCN bioassay, where seedlings *Tradescantia pallida* var. *pupurea* were exposed to environmental conditions and after that, the percentage of micronuclei present in tetrads, of pollen grain's mother cells was verify. Samples areas were in three different regions, two of them located in urban areas, Point 1 located in a residential neighborhood, near an industrial area and Point 2 located near the downtown. The Point 3 is in the rural area of the city. This study showed that air pollutants are found in higher concentrations in the urban area of the city than in rural areas, emphasizing that the concentration of O₃ was the only one that increased in rural areas. The micronucleus frequency was also observed in large quantities in urban areas, mainly in the Point 2. According to the WHO, in 2012, 7 million people died in the world because of air pollution. The monitoring of atmospheric pollution is an important tool to provide life quality for the population.

Keywords: air pollution, biomonitoring, micronucleus nitrogen dioxide, ozone.

Introdução

A poluição atmosférica foi intensificada desde que a Revolução Industrial acelerou o processo de emissão de gases e partículas, através da queima acentuada de carvão mineral, que, até então, estava limitada ao uso doméstico. Hoje, a

maioria dos poluentes são oriundos da queima de combustível fóssil. A maior parte da população mundial vive em cidades e aglomerados urbanos e estão expostas a níveis progressivamente maiores destes poluentes (WHO, 2005, 2016). Os acidentes que ocorreram no Vale Meuse, na Bélgica em 1930,

em Donora, nos Estados Unidos da América em 1948 e o mais dramático ocorrido em Londres no ano de 1952, tiveram características em comum o acúmulo de altas concentrações de poluentes atmosféricos, principalmente gases e material particulado, culminando em uma densa nuvem de fumaça, que permaneceu por longo período e ocasionou um aumento no número de óbitos, principalmente pelo agravamento de doenças respiratórias (Hunt *et al.*, 2003). Estes eventos evidenciam que há uma relação entre o aumento dos índices de poluição atmosférica e efeitos negativos à saúde (Costa *et al.*, 1999; Hauck *et al.*, 1998). A poluição do ar está relacionada a problemas respiratórios como: rinites alérgicas e bronquite, podendo causar também dor de cabeça, irritação nos olhos e garganta (Morais *et al.*, 2012) e até mesmo, levar ao aparecimento de doenças cardiovasculares e câncer de pulmão (Raaschou-Nielsen *et al.*, 2012). Estima-se que cerca de 10% das mortes de idosos, 7% da mortalidade infantil e de 15 a 20% das internações de crianças por doenças respiratórias estejam relacionadas com a poluição atmosférica (DECONT – SVMA, 2012).

A análise química de poluente atmosférico é bastante utilizada para quantificar o grau de exposição a diferentes concentrações de gases e partículas tóxicas. Dentre os diversos gases existentes, destacam-se o dióxido de nitrogênio (NO₂) e o ozônio (O₃) (Baird e Cann, 2011). O NO₂ é um poluente primário, que juntamente com o óxido nítrico e o óxido nítrico, são os óxidos mais encontrados na atmosfera. No motor dos veículos ocorre uma reação entre o oxigênio e o nitrogênio, presentes no ar, durante a combustão, produzindo o monóxido de nitrogênio (NO), que após sofrer oxidação é convertido em NO₂ e liberado na atmosfera. O NO₂ pode reagir com a água e formar o ácido nítrico (causador da chuva ácida) e o monóxido nítrico, e, ainda, pode ser um precursor do O₃ (Baird e Cann, 2011). O NO₂ possui a característica de afetar as porções mais periféricas do pulmão ao ser inalado, uma vez que apresenta solubilidade muito baixa em água. Sua toxicidade correlaciona-se ao fato de ser um agente oxidante que induz exacerbação nas respostas alérgicas e inflamação das vias aéreas (U.S.EPA, 2016; WHO 2013). Em estudo recente, Damiani *et al.*, concluíram que a exposição crônica a material particulado, também um dos principais poluentes atmosféricos, foi capaz de produzir inflamação pulmonar e alterações oxidativas cardiopulmonares em ratos (Damiani *et al.*, 2012) o que também foi observado por Rhoden *et al.* em estudo semelhante (Rhoden *et al.*, 2005).

Já o O₃ é um poluente secundário, altamente tóxico, formado a partir de reações fotoquímicas na presença de luz solar entre poluentes primários, principalmente óxidos de nitrogênio (NO_x) (WHO, 2005; Morais *et al.*, 2012). Estudos demonstram que a exposição a níveis altos de O₃ está associada ao aumento nas admissões hospitalares por pneumonia, doença pulmonar

obstrutiva crônica, asma, rinite alérgica, e outras doenças respiratórias, além de morte prematura. (Ebi e McGregor, 2008; Bell *et al.*, 2004; Mudway e Kelly, 2000; Buteau, 2018). A exposição à poluição atmosférica pode ser avaliada por diferentes métodos que são altamente sensíveis e eficazes. A concentração dos poluentes pode ser detectada através de análises químicas ou pela utilização de biomonitoramento. Um exemplo de biomonitoramento é a utilização de vegetais como forma de monitorar a poluição do ar (biomonitoramento vegetal). Este tipo de abordagem pode ser justificada por alguns motivos: larga distribuição geográfica, fácil coleta e legibilidade do impacto dos poluentes. As plantas têm uma sensibilidade diferente dependendo do tipo de poluente e do período de crescimento (Falla *et al.*, 2000). O teste de micronúcleo em *Tradescantia* (Trad-MCN) é considerado uma técnica primordial por muitos estudiosos pela simplicidade da metodologia e sensibilidade da planta à exposição tóxica (Ma *et al.*, 1994; Rodrigues *et al.*, 1997; Batalha *et al.*, 1999; Guimarães *et al.*, 2000, Sposito *et al.*, 2017) além de apresentar menores custos e fornecer dados significativos. (Oliveira e Kummrow, 2008). Somente em 2012, a poluição atmosférica foi responsável por cerca de 3 milhões de mortes e pela redução na expectativa de vida em 85 milhões de pessoas no mundo (WHO, 2016).

Em virtude da importância de se conhecer os níveis de poluição atmosférica, visto que em Caxias do Sul não há estações de monitoramento do ar em funcionamento, e também, em se poder correlacionar estes dados com possíveis danos que possam ser atribuídos aos poluentes atmosféricos, o objetivo deste trabalho foi, portanto, quantificar o nível de NO₂ e O₃ em diferentes regiões do município de Caxias do Sul, através de amostragem passiva, no mês de setembro de 2014, bem como, avaliar a genotoxicidade dos poluentes atmosféricos em mudas de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* através do bioensaio Trad-MCN entre os meses de outubro e novembro de 2014.

Métodos

A área de amostragem localiza-se no município de Caxias do Sul, no estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil. Caxias do Sul é a segunda maior cidade do Rio Grande do Sul em número de habitantes, com 465.304 munícipes (IBGE, 2014), possui o 33º PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil, o 4º da região sul e a 3ª economia do RS. É considerada o segundo maior polo metal/mecânico do Brasil, perdendo apenas para São Paulo. Grande parte de sua economia é baseada na atividade industrial, com indústrias metalúrgicas e mecânicas em maior número (SIMECS, 2013). Além disso, Caxias possui a segunda maior frota de veículos do RS (DETRAN-RS, 2012), e também conta com a Estação Aduaneira Interior (Porto Seco), que realiza operações de fiscalização e desembaraço aduaneiro, intensificando ainda mais o fluxo de

veículos nas rodovias da cidade e, conseqüentemente, a emissão de poluentes. Segundo a Fundação de Economia e Estatística (FEE-RS), no ano de 2012 Caxias do Sul ocupava o 3º lugar no estado no Índice de Potencial Poluidor da Indústria (Inpp-I), perdendo apenas para as cidades de Canoas e Triunfo, respectivamente. É importante ressaltar que Caxias do Sul ocupou este lugar desde o ano de 2002. A capital do estado, o município de Porto Alegre, ocupava o 5º lugar no

Inpp-I em 2012, com uma população de 1.467.816 habitantes (IBGE, 2014).

Os pontos de amostragem foram denominados de Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3. O Ponto 1 localiza-se no Bairro Cidade Nova, localizado a 5 km do centro da cidade. O Ponto 2 está localizado Bairro Madureira, localizado a 1 km do centro da cidade. E o Ponto 3 na Zona Rural, no Distrito de Fazenda Souza, localizado a 17 km do centro da cidade (Figura 1).

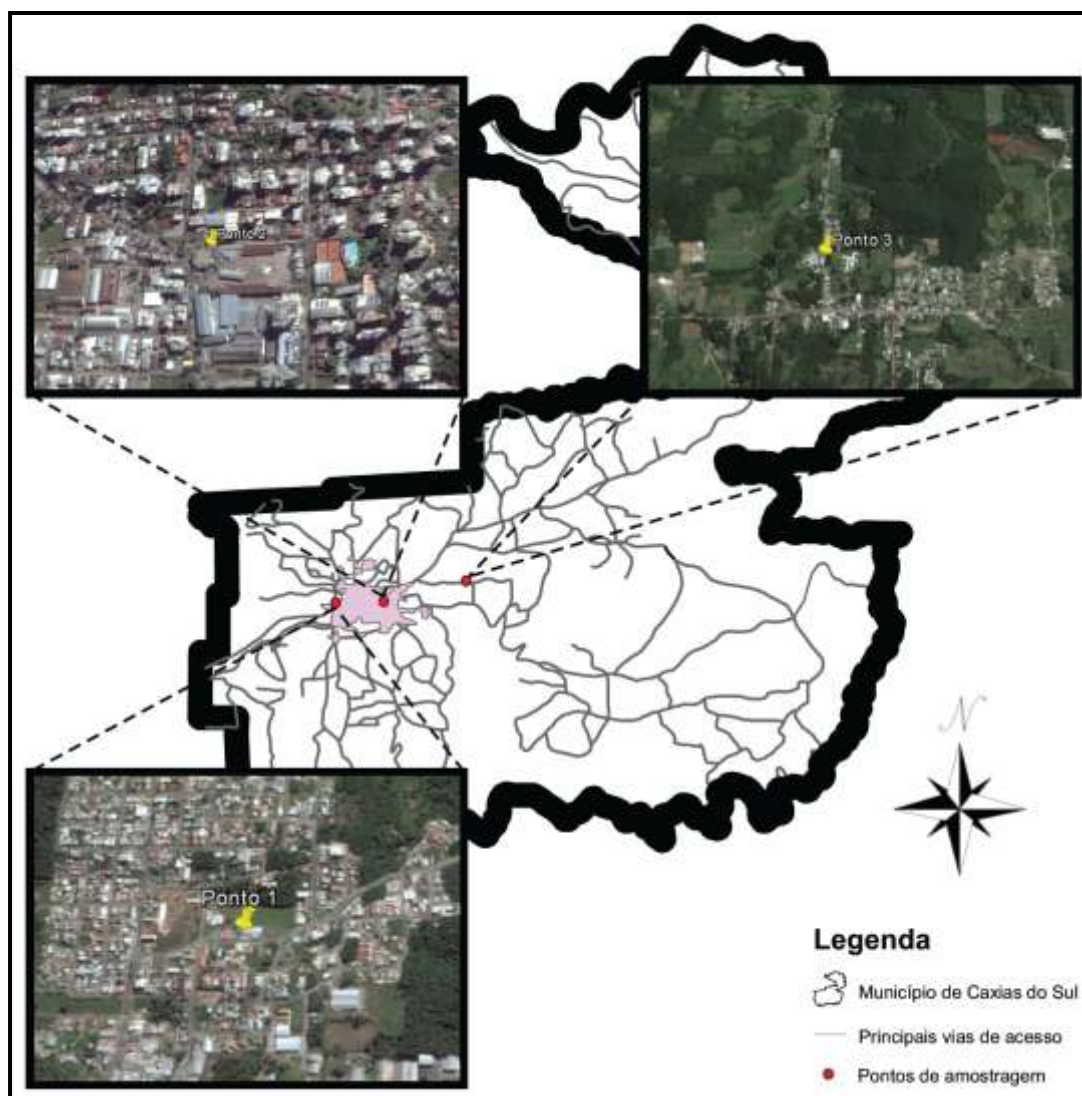


Figura 1: Mapa do município de Caxias do Sul com os pontos de amostragem

Foram utilizados monitores passivos, também chamados amostradores ou dosímetros passivos desenvolvidos através dos procedimentos descritos pelo método de Lodge (Lodge, 1989) para a análise do NO₂.

Num primeiro momento realizou-se o preparo dos filtros antes de serem levados a campo. Aplicou-se uma solução absorvente em filtros de celulose (Whatmann 40) que foram incubados a 37°C durante 24 horas em estufa. Após este preparo, os filtros foram acoplados em peça plástica vazada e protegidos da chuva por uma touca plástica que deixavam a abertura do filtro exposto. Os filtros foram embalados em saco com fecho

hermético, para evitar o contato com o ar durante o transporte até os pontos de amostragem.

Foram instalados 4 filtros em cada ponto mais o filtro utilizado como branco, que ficou vedado durante todo o tempo de exposição. Os filtros foram instalados a uma altura em torno de 1,80 m com a abertura do filtro para baixo e permaneceram expostos às condições ambientais por um período de treze dias. Durante esse período dados meteorológicos de cada dia de exposição foram obtidos através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Após esse período os filtros foram recolhidos e embalados novamente em saco com fecho hermético para evitar contaminação até

chegarem ao laboratório. Ao entrar em contato com a solução absorvente presente do filtro o NO₂ é convertido a nitrito. Para a extração de nitrito dos filtros, primeiramente, foi feita uma curva de calibração com concentrações conhecidas. Após, extraiu-se o nitrito de cada filtro, mais o branco, de cada ponto e leu-se em espectrofotômetro a 550 nm. Com os resultados obteve-se uma média de cada dia de exposição.

O monitoramento passivo de O₃ foi realizado de acordo com o método baseado em Scheeren e Adema que utiliza corante Indigo (Scheeren e Adema, 1996).

Preparou-se uma solução absorvente que no dia da exposição foi impregnada nos filtros, sempre protegidos da luz, que foram acoplados em peça plástica vazada e protegidos da chuva, semelhante às utilizadas na análise de NO₂. Os filtros foram embalados em saco com fecho hermético, para evitar o contato com o ar durante o transporte até os pontos de amostragem. Foram instalados 6 filtros em cada ponto mais o filtro utilizado como branco, que ficou vedado durante todo o tempo de exposição. Os filtros foram instalados a uma altura em torno de 1,80 m com a abertura do filtro para baixo e permaneceram expostos às condições ambientais por um período mínimo de 8 horas. Após esse período os filtros foram recolhidos e embalados novamente em saco com fecho hermético para evitar contaminação até chegarem ao laboratório. A extração do O₃ foi realizada com 5 ml de água destilada e a leitura foi realizada em espectrofotômetro em 610 nm.

Bioensaio TRAD-MCN

As mudas de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* foram cultivadas em floreiras de plástico com medidas de 46 x 21 x 16 cm, contendo 5 mudas em cada floreira. Em cada ponto de

amostragem foram alocadas 3 floreiras, totalizando 15 mudas em cada ponto. As plantas ficaram expostas de setembro a novembro de 2014, para adaptação e floração. O material coletado foi processado de acordo com a metodologia sugerida por Ma et al. (1994). Após o início da floração, coletaram-se as inflorescências que foram fixadas em uma solução de etanol-ácido acético (3:1) por 24h e após este período foram transferidas para etanol 70% até o momento da análise.

Para a análise separou-se os botões das estruturas que foram ordenados por tamanho. Cada botão foi processado até encontrarem-se células em tétrades. Os botões foram macerados com espátula em lâmina de microscopia com uma gota de corante carmim. Retirou-se os restos das pétalas e anteras com pinça e cobriu-se com lamínula. A lâmina foi levemente aquecida sobre a chama de uma lamparina, para melhor fixação do corante, e passou-se a análise microscópica a 400x. Foram observadas 300 tétrades em cada lâmina. As frequências de micronúcleos foram registradas em cada lâmina (número de micronúcleos em 300 tétrades) e expressas em termos de MN/100 tétrades.

Análise estatística

As variáveis quantitativas foram avaliadas pela análise de variância (ANOVA) de 1 via com pós-teste de Tukey com níveis de significância de P < 0,05. O software utilizado para a análise estatística foi o SPSS 18.0 for Windows.

Resultados

Os dados meteorológicos do município de Caxias do Sul referentes ao período de exposição para amostragem passiva de NO₂ estão representados na Tabela 1.

Tabela 1: Média de Temperatura, Umidade e Chuvas na cidade de Caxias do Sul durante o período de exposição dos filtros passivos de NO₂.

	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Chuvas (mm)
Caxias do Sul	17,4	76	4,98

Fonte: INMET

A Figura 2 (A) representa que a média das concentrações de NO₂ em todos os Pontos mantiveram-se abaixo do recomendado pela OMS (40 ug/m³ - média anual). Houve diferença estatística entre o Ponto 1 e o Ponto 3, bem como, entre os Pontos 2 e 3. O Ponto 3 obteve a menor concentração de NO₂, o que já era esperado por se tratar de um ponto localizado em área rural, e consequentemente ter menor circulação de veículos automotores e indústrias, principais emissores deste poluente. O Ponto 2 obteve a maior concentração, o que também já se era esperado por se tratar de um local próximo a região central da cidade e por haver uma via de grande fluxo de veículos ao lado do ponto de exposição.

As concentrações de O₃ estão representadas na Figura 2 (B) e os dados climáticos de Caxias do Sul referentes ao dia de exposição do filtro passivo, conforme o horário da medição pelo INMET, estão representados na Tabela 2. É importante ressaltar que os filtros foram expostos a partir de 7h45min e recolhidos a partir de 15h45min. Houve diferença estatisticamente significativa entre os Pontos 1 e o Ponto 2. O ponto 2 obteve maior concentração deste poluente, provavelmente, por se tratar do ponto com maior fluxo de veículos ao seu redor. O ponto 3 obteve, também, alta concentração enquanto o ponto 1 obteve a menor concentração de O₃.

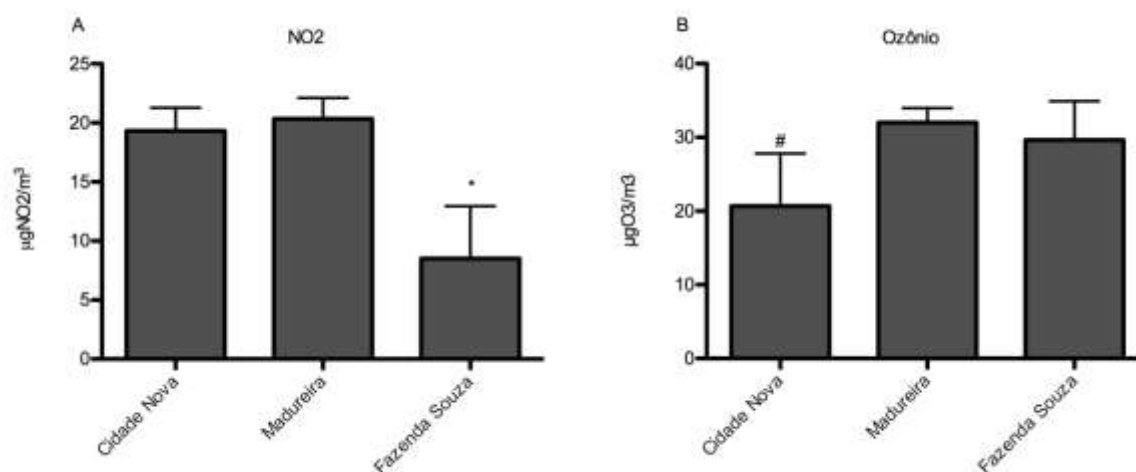


Figura 2: (A) Média e desvio padrão das concentrações de dióxido de nitrogênio, por amostragem passiva, nos 3 pontos analisados. * Diferença estatisticamente significativa em relação aos pontos nos bairros Cidade Nova e Madureira, $P < 0,001$. (B) Média e desvio padrão das concentrações de ozônio, por amostragem passiva, nos 3 pontos analisados. # Diferença estatisticamente significativa em relação ao ponto situado no bairro Madureira, $P < 0,05$.

Tabela 2: Temperatura, umidade e chuvas na cidade de Caxias do Sul no dia de exposição do filtro passivo de O₃.

	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Chuvas (mm)
	0 hora	12 horas	18 horas	0 hora	12 horas	18 horas	
Caxias do Sul	11,4	12,4	19,6	79	83	69	0

Fonte: INMET

Os dados meteorológicos da cidade de Caxias do Sul referentes ao período de exposição das mudas de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* estão representados na tabela 3, de acordo com as semanas de monitoramento. Na figura 3 pode-se observar o gráfico que demonstra a porcentagem de MCN/100 tétrades em cada ponto. Como já era esperado, o ponto 3 localizado na área rural mostrou diferença significativa com menor número de micronúcleos comparado aos demais pontos. Houve diferença estatística entre os pontos 2 e 3, porém não houve nas demais comparações. O ponto 2 obteve a maior porcentagem de micronúcleos, como também já era esperado.

É sabido que a poluição atmosférica nas áreas urbanas de grandes cidades vem se tornando um problema cada vez maior. Diariamente a população precisa conviver com poluentes do ar responsáveis por diversas doenças do aparelho respiratório e, inclusive, cardiovasculares. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), em seu último *Guideline*, no ano de 2005, o nível seguro de NO₂ para a saúde deve ser de até 40 µg/m³ (média anual) e de O₃ até 100 µg/m³ (média de oito horas) (WHO, 2005).

No presente estudo verificou-se que os níveis de NO₂ mantiveram-se abaixo do recomendado pela OMS. Porém, um estudo feito em Curitiba no ano de 2004 demonstrou que gases como o NO₂ mantiveram-se em níveis abaixo do limite estabelecido, entretanto houve grande correlação com doenças respiratórias (Bakonyi, 2004). Após a análise de 113 estudos sobre a

qualidade do ar, entre brasileiros e estrangeiros, Olmo *et al.*, concluíram que 93 estudos demonstraram que os poluentes atmosféricos, mesmo estando dentro dos níveis permitidos pela legislação brasileira, afetaram a saúde humana (Olmo *et al.*, 2011). Isso induz ao raciocínio de que mesmo quando o poluente está dentro do limite permitido, pode ser prejudicial à saúde, e que não há níveis seguros de concentração de poluentes para a saúde humana, uma vez que a sensibilidade e características biológicas de cada pessoa apresenta grande variabilidade (Olmo *et al.*, 2011; Zakrzewsk, 1997). Costa e colaboradores (2017) demonstra haver uma correlação entre aumento nas concentrações de NO₂ atmosférico na cidade de São Paulo com mortalidade por doenças cardíacas, principalmente em idosos. Além disso, a mortalidade na insuficiência cardíaca congestiva foi recentemente associada à exposição diária aos poluentes NO₂ e O₃ (Buteau, 2018).

Observou-se que o ponto 2, localizado muito próximo ao centro da cidade e, conseqüentemente, de vias de grande fluxo de veículos, apresentou níveis elevados, comparados aos outros pontos de amostragem, para todas as variáveis em questão, NO₂, O₃ e para o bioensaio Trad-MCN. Isso reafirma que a área urbana das cidades é a mais prejudicada pela poluição atmosférica, provavelmente pelo grande número de veículos automotores que circulam ali, e a conseqüente emissão dos principais poluentes por suas descargas. Em estudo europeu de corte, percebeu-se a associação entre mortalidade por

doenças respiratórias e cardiovasculares com o local de residências dos indivíduos. Quanto mais próximas as residências estavam das vias de grande fluxo de veículos, maior foram os riscos

apresentados para óbito por estas doenças, inclusive por câncer pulmonar (Raaschou-Nielsen et al., 2012).

Tabela 3: Média de temperatura, umidade e chuvas na cidade de Caxias do Sul durante o período de exposição da *Tradescantia pallida* var. *purpúrea*, de acordo com a semana de monitoramento.

Semana de Monitoramento	Temperatura (°C)				Umidade(%)				Chuvas (mm)			
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Caxias do Sul	23,2	19,6	20	21,8	70,7	85,3	70	60	0,5	6,8	5,7	1,9

Fonte: INMET

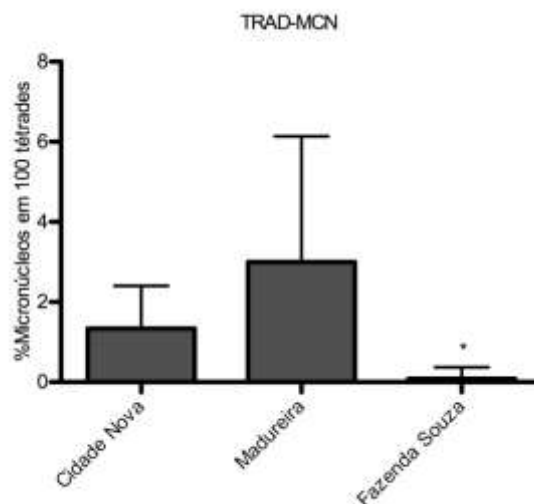


Figura 3: Média e desvio padrão da porcentagem de MCN/100 tétrades em cada ponto de amostragem. * Diferença estatisticamente significativa em relação ao ponto no bairro Madureira, P < 0,001.

O O₃ é um dos poluentes acumulados quando há formação do chamado *smog* fotoquímico, que consiste em uma neblina amarronzada que ocorre com altos níveis de poluição atmosférica nos centros urbanos (Garcia, 2009). Além de causar efeitos na saúde humana desde náuseas até mesmo levar ao aparecimento de câncer de pulmão (Campbell, 1986; European Environment Agency, 1998), o O₃ atua sobre os vegetais com seu poder fitotóxico que, dependendo da concentração, pode levar ao surgimento de regiões esbranquiçadas e até necrose das plantas expostas. (Boubel et al., 1994; Guerra et al., 2004; Ashmore et al., 2004; Gravano et al., 2004).

O uso sistemático das respostas de organismos vivos para avaliar as mudanças ocorridas no ambiente, geralmente causadas por ações antropogênicas (Matthews et al., 1982; Buss et al., 2003) é a definição mais aceita para biomonitoramento. O qual é utilizado para quantificar a exposição humana e os efeitos à saúde causados por determinadas condições ambientais (Smolders et al., 2009). Os bioindicadores são organismos ou um conjunto de organismos que reagem a perturbações ambientais através de alterações nas suas funções vitais ou composição

química e podem ser usados para a avaliação da extensão das mudanças em seus ambientes (Arndt e Schweizer, 1991).

Certas espécies de plantas utilizadas como indicadores de poluição mostram em longo prazo respostas de elevada sensibilidade para os contaminantes do ar e, por conseguinte, podem ser utilizadas para a avaliação qualitativa e quantitativa da poluição do ar (Meireles et al., 2009; Carneiro, 2004). O ar de ambientes urbanos induz genotoxicidade não apenas em humanos, mas também em animais, plantas e bactérias podendo comprometer a harmonia do ecossistema. (Isidori et al., 2003). As plantas são os organismos mais utilizados em bioindicação também por apresentarem resultados positivos com baixos níveis de contaminação, sendo, portanto, conhecidas como sensíveis bioindicadores de mutagênese (Ma et al., 1994). Dentre os bioindicadores mais utilizados, ressalta-se o teste de micrônucleo em vegetais, utilizado primeiramente em raiz de *Vicia faba*, sendo hoje aplicado em maior escala em mudas de *Tradescantia pallida* (Majer et al., 2001).

A *Tradescantia pallida* var. *purpúrea* é um sensível bioindicador da poluição atmosférica.

Vários estudos avaliaram o potencial mutagênico da poluição atmosférica utilizando o bioensaio Trad-MCN (Arutyunyan, et al., 1999; Gichner e Velemínský, 1999; Isidori et al., 2003; Carneiro, 2004; Sposito, 2017). Os efeitos genotóxicos dos poluentes atmosféricos na *Tradescantia pallida* var. *purpúrea* foram observados em maior escala nos pontos 1 e 2, localizados na área urbana, do que no ponto 3, localizado em área rural, da mesma forma que foi observado em cidades da Europa por Klumpp et al. em 2006, porém com mudas clone 4430 (Klumpp et al., 2006), em Córdoba na Argentina (Carreras et al., 2009), em cidades de São Paulo, Santo André e em Feira de Santana no Brasil (Guimarães et al., 2000; Meireles et al., 2009; Savóia et al., 2009) com mudas de *Tradescantia pallida* var. *purpúrea*. Sendo assim, os poluentes atmosféricos presentes nas áreas urbanas são capazes de causar a ruptura nos cromossomos de células tétrades de grão de pólen (Savóia et al., 2009; Carneiro et al., 2011). Entretanto, alguns estudos salientam que há relação direta da formação de micronúcleos com fatores climáticos como temperatura, umidade e chuvas. Uma baixa frequência de micronúcleos pode estar associada a grandes volumes de chuvas durante o período de exposição da planta, provavelmente causada pela dispersão dos poluentes na atmosfera (Ferreira et al., 2003).

De acordo com a OMS, no ano de 2012 morreram 7 milhões de pessoas no mundo em decorrência da poluição atmosférica. A maioria das mortes ocorreram em países de média e baixa renda. 3,7 milhões de óbitos foram devido a poluição atmosférica em ambientes externos, o que representa 51% da população mundial. O estudo relata que 40% das mortes foram causadas por derrame, 40% por cardiopatia isquêmica, 11% por doença pulmonar obstrutiva crônica, 6% por câncer de pulmão e 3% por doença respiratória aguda, todas relacionadas à poluição atmosférica (WHO, 2016).

Desse modo, o monitoramento da poluição atmosférica passa a ser uma importante ferramenta adotada para propiciar uma melhor qualidade de vida à população. Nosso estudo, o primeiro a avaliar os índices de poluição atmosférica ambiental em Caxias do Sul - Brasil, demonstrou que há uma clara diferença nas concentrações de poluentes entre os pontos analisados. Também verificamos que no ponto com maiores concentrações de NO₂ e O₃ há um maior potencial mutagênico do ar atmosférico. Contudo, um melhor detalhamento desta questão se faz necessário, aprofundando o estudo com um biomonitoramento humano.

Agradecimentos

À Eng^a. Andréia Cristina Trentin, pela confecção do mapa do município de Caxias do Sul com os pontos de amostragem

Referências

ARUTYUNYAN, R.M.; POGOSYAN, V.S.; SIMONYAN, E.H.; ATOYANTS, A.L.; DJIGARDJIAN, E.M. In situ monitoring of the ambient air around the chloroprene rubber industrial plant using *Tradescantia*-stamen-hair mutation assay. *Mutation Research*, 426: 117-120, 1999.

ARNDT, U; SCHWEIZER, B. The use of bioindicator for environmental monitoring tropical and subtropical countries. In: Biological monitoring signals from the environment. *Vieweg: Braunschweig*, 199-298, 1991.

ASHMORE, M.; EMBERSON, L.; KARLSSON, P. E.; PLEIJEL, H. New directions: a new generation of ozone critical levels for the protection of vegetation in Europe. *Atmospheric Environment*, v. 38, n. 15, p. 2213-2214, 2004.

BAIRD, C.; CANN, M. *Química ambiental*. 4ed. Porto Alegre, RS: Bookman. 844p. ISBN 978-85-7780-848-9, 2011.

BAKONYI, S.M.C.; OLIVEIRA, I.M.D; MARTINS L.C.; BRAGA A.L.F. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Revista Saúde Pública*, 38 (5): 695-700, 2004.

BATALHA, J. R. F.; GUIMARÃES, E. T.; LOBO, D. J. A.; LICHTENFELS, A. J. F. C.; DEUR, T.; CARVALHO, H. A.; ALVES, E. S.; DOMINGOS, M.; RODRIGUES, G. S.; SALDIVA, P. H. N. Exploring the clastogenic effects of air pollutants in São Paulo (Brazil) using the *Tradescantia* micronuclei assay. *Mutation Research*, 426: 229 – 232, 1999.

BELL, M.L.; MCDERMOTT, A.; ZEGER, S.L.; SAMET, J.M.; DOMINICI, F. Ozone and mortality in 95 US urban communities, 1987 to 2000. *JAMA*; 292:2372–2378, 2004.

BOUBEL, R. W.; FOX, D. L.; TURNER, D.B., 1994. *Fundamentals of Air Pollution*. 3rd ed. New York: *Academic Press*, 1994.

BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F., NESSIMIAN, J. L. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 19(2):465-473, 2003.

BUTEAU, S; GOLDBERG, M.S; BURNETT, R.T; GASPARRINI, A; VALOIS, M.F; BROPHY, J.M; CROUSE, D.L; HATZOPOULOU, M. Associations between ambient air pollution and daily mortality in a cohort of congestive heart failure: Case-crossover and nested case-control analyses using a distributed lag nonlinear model. *Environmental International*, ahead of print, 2018.

- CAMPBELL, I.M. Energy and the atmosphere: a physical-chemical approach. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, 1986.
- CARNEIRO, R. M. A. Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade. Dissertação (Mestrado em Enfermagem em Saúde Pública), Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- CARNEIRO, M. F. H.; RIBEIRO, F. Q.; FERNANDES-FILHO, F. N.; LOBO, D. J. A.; BARBOSA JR., F.; RHODEN, C. R.; MAUAD, T.; SALDIVA P. H. N.; CARVALHO-OLIVEIRA, R. Pollen abortion rates, nitrogen dioxide by passive diffusive tubes and bioaccumulation in tree barks are effective in the characterization of air pollution. *Environmental and Experimental Botany*, 75, (2): 272-277, 2011.
- CARRERAS, H.A., RODRIGUEZ, J.H., GONZALEZ, C.M., WANNANZ, E.D., FERREYRA, F.G., PEREZ, C.A. and PIGNATA, M.L. Assessment of the relationship between total suspended particles and the response of two biological indicators transplanted to an urban area in central Argentina. *Atmospheric Environment*, 43: 2944-2949, 2009.
- COSTA, A.F; HOEK, G.; BRUNEKREEF, B.; PONCE DE LEON, A.C.M. Effects of NO₂ exposure on daily mortality in São Paulo, Brazil. *Environmental Research*, 159: 539-544, 2017.
- COSTA, D.L.; DREHER, K.L. - What Do We Need to Know about Airborne Particles to Make Effective Risk Management Decisions? A Toxicology Perspective. *Human and Ecological Risk Assessment*, 5(3): 481-491, 1999.
- DAMIANI, R. M., PIVA, M. O., PETRY, M. R., SALDIVA, P. H., TAVARES DUARTE DE OLIVEIRA, A., RHODEN C. R. Is cardiac tissue more susceptible than lung to oxidative effects induced by chronic nasotropic instillation of residual oil fly ash (ROFA)? *Toxicol. Mech. Methods* 22, 533–539, 2012.
- DECONT - Departamento de Controle da Qualidade Ambiental; SVMA - Secretaria do Verde e do Meio Ambiente. Relatório da Qualidade do Meio Ambiente. Prefeitura de São Paulo, 2012. Available: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio_ambiente/arquivos/rqma_2012_final.pdf>. Access: mar. 2014.
- DETRAN-RS – Departamento Estadual de Trânsito. Estatísticas: Frota por município ao ano. Porto Alegre, 2012. Available: <<http://www.detran.rs.gov.br/index.php?action=estatistica&codItem=99>>. Access: mar. 2014.
- EBI, K.; MCGREGOR, G. Climate change, tropospheric ozone and particulate matter, and health impacts. *Environ Health Perspect.* 116:1449–1455, 2008.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Tropospheric ozone in urban in the European Union: the consolidated report. *Topic report*, n 8, 1998.
- FALLA, J.; LAVAL-GILLY, P.; HENRYON, M.; MORLOT, D.; FERARD, J-F. Biological air quality monitoring: a review. *Environmental Monitoring and Assessment.* 64:627-644, 2000.
- FEE-RS – Fundação de Economia e Estatística. Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã do Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Potencial Poluidor da Indústria no RS: Análise dos Dados 2002–2009. Porto Alegre, 2012. Available: <<http://www.fee.rs.gov.br/indicadores/indicadores-ambientais/destaques/>>. Access: mar. 2014.
- FERREIRA, M.I., RODRIGUES, G.S., DOMINGOS, M. and SALDIVA, P.H.N. *In situ* monitoring of mutagenicity of air pollutants in São Paulo city using *Tradescantia*-SHM bioassay. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 46 (2): 253-258, 2003.
- GARCIA, G. Construção e calibração de amostrador passivo para determinação de ozônio troposférico. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Brasil, (Dissertação de Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, 2009.
- GICHNER, T.; VELEMINSKY, J. Monitoring the genotoxicity of soil extracts from two heavily polluted sites in Prague using the *Tradescantia* stamen hair and micronucleus (MCN) assays. *Mutation Research*, 426: 163-166, 1999.
- GRAVANO, E.; BUSSOTTI, F.; STRASSER, R. J.; SCHAUB, M.; NOVAK, K.; SKELLY, J.; TANI, C. Ozone symptoms in leaves of woody plants in open-top chambers: ultrastructural and physiological characteristics. *Physiologia Plantarum*, 121 (4): 620-633, 2004.
- GUERRA, J.C.; RODRIGUEZ, S.; ARENCIBIA, M. T.; GARCIA, M. D. Study on the formation and transport of ozone in relation to the air quality management and vegetation protection in Tenerife (Canary Islands). *Chemosphere*, 56 (11): 1157-1167, 2004.
- GUIMARÃES, E. T.; DOMINGOS, M.; ALVES, E. S.; CALDINI JR, N.; LOBO, D. J. A.; LICHTENFELS, A. J. F. C.; SALDIVA, P. H. N. Detection of the genotoxicity of air pollutants in and around the city of São Paulo (Brazil) with the *Tradescantia* micronucleus (Trad-MCN) assay. *Environmental and Experimental Botany*, 44: 1- 8 2000.
- HAUCK, H. Revision of ambient air quality standards for PM? *Toxicol. Letters*, 96 (97): 269–276, 1998.

- HUNT, A.; ABRAHAM, J.L.; JUDSON, B.; BERRY, C.L. Toxicologic and Epidemiologic Clues from the Characterization of the 1952 London Smog Fine Particulate Matter in Archival Autopsy Lung Tissues. *Environ. Health Perspect.*, 111:1209–1214, 2003.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Cidades. Available: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&codu f=43&search=rio-grande-do-sul>>. Access: mar. 2014.
- ISIDORI, M.; FERRARA, M.; LAVORGNA, M.; NARDELLI, A.; PARRELA. *In situ* monitoring of urban air in Southern Italy with the *Tradescantia* micronucleus bioassays and semipermeable membrane devices (SPMDs). *Chemosphere*, 52: 121 – 126, 2003.
- KLUMPP, A., ANSEL, W., KLUMPP, G., CALATAYUD, V., GARREC, JP., HE, S., PENUELAS, J., RIBAS, A., RO-POULSEN, H., RASMUSSEN, S., SANZ, MJ. and VERGNE, P. *Tradescantia* micronucleus test indicates genotoxic potential of traffic emissions in European cities. *Environmental Pollution*, vol. 139, p. 515-522, 2006.
- LODGE, J.P., 1989. *Methods of Air Sampling and Analysis*, Jr editor, Lewis Publishers, Inc.; p 4, 1989.
- MA, T. H.; CABRERA, G. L.; CHEN, R.; GILL, B. S.; SANDHU, S. S.; VANDENBERG, A. L.; SALAMONE, M. F. *Tradescantia* micronucleus bioassay. *Mutation Research*, 310: 221-230, 1994.
- MAJER, B. J.; LAKY, B.; KNASMÜLLER, S.; KASSIE, F. Use of the micronucleus assay with exfoliated epithelial cells as a biomarker for monitoring individuals at elevated risk of genetic damage and in chemoprevention trials. *Mutation Research*, 489: 147 – 172, 2001.
- MATTHEWS, R. A.; BUIKEMA, A. L., CAIRNS Jr., J. Biological monitoring part IIA: Receiving system functional methods relationships, and indices. *Water Research*, 16:129-139, 1982.
- MEIRELES, J.; ROCHA, R.; COSTA NETO, A.; CERQUEIRA, E. Efeitos genotóxicos da poluição do tráfego de veículos, avaliada pelo teste de micronúcleos em *Tradescantia* (Trad-MCN). *Mutation Research*, 675: 46 – 50, 2009.
- MORAIS, L. C.; CAMPOS, V.; DWECK, J.; GUANDIQUE, M. E. G.; BÜCHLER, P. M. *Meio ambiente e sustentabilidade* cap 13. Porto Alegre, RS: Bookman, 2012.
- MUDWAY, I.S.; KELLY, F.J. Ozone and the lung: a sensitive issue. *Mol Aspects Med*; 21:1–48, 2000.
- OLIVEIRA, D. P.; KUMMROW, F. Poluentes da atmosfera. In: OGA, S.; CAMARGO, M. M. A.; BATISTUZZO, J. A. O. (Org.). *Fundamentos de Toxicologia*. 3. ed., São Paulo: Atheneu, p.143-164, 2008.
- OLMO, N. R. S.; SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F.; LIN, C. A.; SANTOS, U. P.; PEREIRA, L. A.A. A review of low-level air pollution and adverse effects on human health: implications for epidemiological studies and public policy. *Clinics*, 66(4), 681-690, 2011.
- RAASCHOU-NIELSEN, O.; ANDERSEN, Z.J.; JENSEN, S.S.; KETZEL, M.; SØRENSEN, M.; HANSEN, J.; *et al.* Traffic air pollution and mortality from cardiovascular disease and all causes: a Danish cohort study. *Environ Health*; 11:60, 2012.
- RHODEN, C. R., WELLENIUS G.A., GHELFI, E., LAWRENCE, J., GONZÁLEZ-FLECHA, B. PM-induced cardiac oxidative stress and dysfunction are mediated by autonomic stimulation. *Biochem Biophys Acta*;1725:305–313, 2005.
- RODRIGUES, G. S.; MA, T. H.; PIMENTEL, D.; WEINSTEIN, L. H. *Tradescantia* bioassay as monitoring systems for environmental mutagenesis: a review. *Critical Reviews in Plant Science*, 16: 325-359, 1997.
- SAVÓIA, E.J., DOMINGOS, M., GUIMARÃES, ET., BRUMATI, F. and SALDIVA, PH. Biomonitoring genotoxic risks under the urban weather conditions and polluted atmosphere in Santo André, SP, Brazil, through Trad-MCN bioassay. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72: 255-260, 2009.
- SCHEEREN, B. A.; ADEMA, E. H. Monitoring ambient ozone with a passive measurement technique: method, field results and strategy. *Water, Air and Soil Pollution*, 91 (3-4): 335.-350, 1996.
- SIMECS – Sindicato das Indústrias Metalúrgicas, Mecânicas e de Material Elétrico de Caxias do Sul. Perfil Socioeconômico 2013. Caxias do Sul, 2013. Available: <<http://www.simecs.com.br/sindicato/institucional/>>. Access: mar. 2014.
- SMOLDERS, R.; SCHRAMM, K.; NICKMILDER, M.; SCHOETERS, G. Applicability of non-invasively collected matrices for human Biomonitoring. *Environmental Health*, 8:8, doi:10.1186/1476-069X-8-8, 2009.
- SPOSITO, J.C.V; CRISPIM, B.A.; ROMAN, A.I.R; MUSSURY R.M.M; PEREIRA, J.G.P; SENO, L.O.S; GRISOLIA, A.B.G. Evaluation the urban atmospheric conditions in different cities using comet and micronuclei assay in *Tradescantia pallida*. *Chemosphere*, 175: 108 – 113, 2017.
- U.S.EPA – U.S. Environmental Protection Agency). Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen – Health Criteria (2016 Final Report), 2016.
- WHO – World Health Organization. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen

dioxide and sulfur dioxide. Summary of Risk Assessment. Global Update, 2005.

WHO – World Health Organization. Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution—REVIHAAP Project. Technical Report, 2013.

WHO – World Health Organization. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease, 2016.

ZAKRZEWSK, S.P. Principles of Environmental Toxicology; *American Chemical Society*; p. 13, 1997.